หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลกระทบของรอยต่อแบบกึ่งข้อแข็งต่อโครงสร้าง

ในบทนี้จะศึกษาถึงผลของรอยต่อแบบกึ่งข้อแข็งที่มีต่อโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุน โดยรอยต่อแบบกึ่งข้อแข็งที่ใช้ในการศึกษา จะใช้รอยต่อที่ได้หาสมการแล้วในบทที่ 3 ทั้งหมด ในตัวอย่างต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา จะแสดงให้เห็นถึงผลที่มีต่อโครงสร้างในด้านการกระจายของแรงภายใน และการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างมีรอยต่อเปลี่ยนไป

5.1 ลักษณะของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในตัวอย่างการศึกษาโครงสร้างที่มีรอยต่อต่างกัน

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาถึงผลของรอยต่อแบบกึ่งข้อแข็งที่มีต่อโครงสร้าง จะมีตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ในตัวอย่างทั้งหมดจะใช้ขนาดของรอยต่อทั้ง 4 ประเภทเพียงขนาดเดียว ซึ่งขนาดต่าง ๆ ของรอยต่อแต่ละประเภทจะมีดังนี้คือ

รอยต่อแบบ Single Web Angle ใช้เหล็กฉากขนาด 3 1/2 x 3 1/2 x 1/2 นิ้ว ยาว 11.5 นิ้ว ระยะเกจที่ใช้เท่ากับ 2.25 นิ้ว

รอยต่อแบบ Header Plate ใช้แผ่นเหล็กขนาด 7.0 x 8.5 นิ้ว หนา 1/2 นิ้ว ระยะเกจที่ใช้เท่ากับ 4.5 นิ้ว

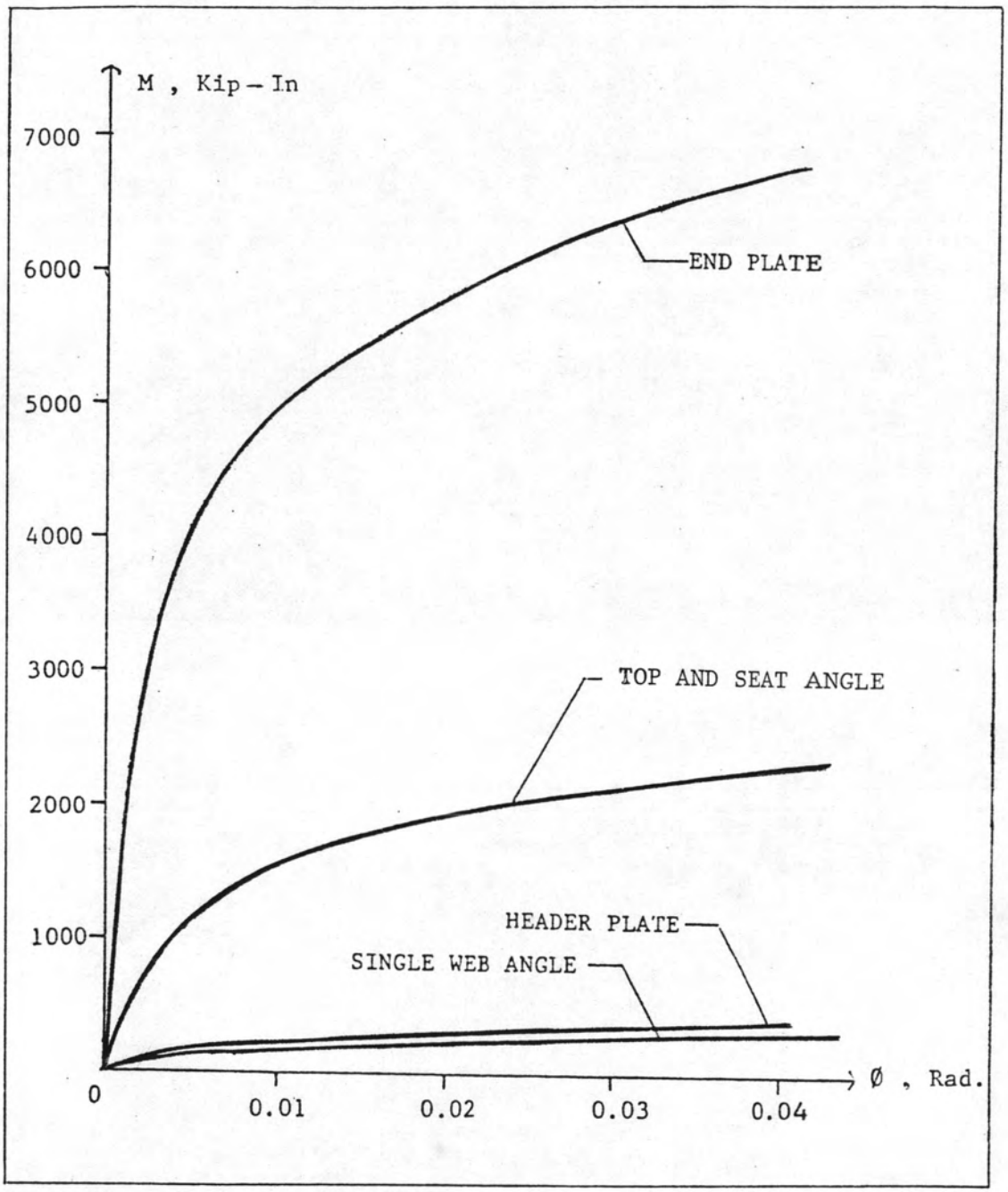
รอยต่อแบบ Top and Seat Angle ใช้เหล็กฉากขนาด 7 x 4 x 3/4 นิ้ว ประกบที่ปีกคานทั้งบนและล่าง ความยาวของเหล็กฉากเท่ากับ 8 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางสลักเกลียวที่ใช้เท่ากับ 1 นิ้ว ความลึกของคานในตัวอย่างเท่ากับ 18 นิ้ว

รอยต่อแบบ End Plate ประกอบด้วยแผ่นเหล็กหนา 2 1/2 นิ้ว ความหนาของปีกเสาในตัวอย่างเท่ากับ 1.06 นิ้ว ความหนาของสติฟเฟนเนอร์ (Stiffeners) ของเสาเท่ากับ 1/2 นิ้ว และความลึกของคานที่ใช้ในตัวอย่างเท่ากับ 18 นิ้ว

ด้วยขนาดของรอยต่อตามที่กำหนด จะได้สมการของรอยต่อเป็นดังแสดงในตารางที่ 5.1 และเส้นโค้งของรอยต่อทั้ง 4 ประเภทที่ใช้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สมการโมเมนต์และมุมเปลี่ยนของรอยต่อแบบ Single Web Angle , Header Plate , Top and Seat Angle และ End Plate ที่ใช้ในตัวอย่างที่ 5.1 , 5.2 , 5.3 และ 5.4

ประเภทของรอยต่อ	ตัวคูณมาตรฐานและสมการของโมเมนต์และมุมเปลี่ยน
Single Web Angle	$K = 0.091116$ $\phi = 2.77\times10^{-5} M + 7.69\times10^{-10} M^3 + 1.64\times10^{-15} M^5$
Header Plate	$K = 0.0756536$ $\phi = 1.06\times10^{-5} M + 7.36\times10^{-10} M^3$
Top and Seat Angle	$K = 7.94231\times10^{-3}$ $\phi = 3.34\times10^{-6} M - 9.76\times10^{-14} M^3 + 5.14\times10^{-19} M^5$
End Plate	$K = 6.74777\times10^{-3}$ $\phi = 8.10\times10^{-7} M - 2.96\times10^{-14} M^3 + 3.08\times10^{-21} M^5$



รูปที่ 5.1 เส้นโค้งโมเมนต์และมุมเปลี่ยนของรอยต่อที่ใช้ในตัวอย่างที่ 5.1-5.4

ลักษณะของโครงข้อหมุนที่ใช้ในตัวอย่างที่ 5.1 ใช้ขนาดของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นโครงข้อหมุนอยู่ 3 ขนาดคือ

ขนาดที่ 1 หรือ วัสดุชุดที่ 1 (Material Set No.1) ชิ้นส่วนมีค่า E (Modulus of Elasticity) เท่ากับ 29000 ksi , A (Area) = 36.45 in^2 , I (Inertia) = 2227.1 in^4

ขนาดที่ 2 หรือ วัสดุชุดที่ 2 E = 29000 ksi , A = 20.56 in^2 , I = 1153.9 in^4

ขนาดที่ 3 หรือ วัสดุชุดที่ 3 E = 29000 ksi , A = 5.44 in^2 , I = 7.7 in^4

สำหรับโครงข้อแข็งที่ใช้ในตัวอย่างในบทนี้ทั้งหมด จะใช้ขนาดของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นโครงสร้างเพียง 2 ขนาดคือ

ขนาดที่ 1 หรือ วัสดุชุดที่ 1 E = 29000 ksi , A = 36.45 in^2 , I = 2227.1 in^4

ขนาดที่ 2 หรือ วัสดุชุดที่ 2 E = 29000 ksi , A = 41.85 in^2 , I = 1672.2 in^4

ในภาพต่าง ๆ ที่แสดงลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างทั้งหมดจะใช้สัญญลักษณ์เพื่อแสดงความหมายของชิ้นส่วนและข้อในโครงสร้าง ซึ่งมีดังต่อไปนี้คือ

หมายถึง ชิ้นส่วนที่ปลายเป็นรอยต่อหลาย ๆ ประเภท ขึ้นอยู่กับตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่จะใช้รอยต่อประเภทใดบ้าง

ตัวเลขในเครื่องหมายนี้ แสดงหมายเลขข้อ (Node Number) ของโครงสร้าง

ตัวเลขในเครื่องหมายนี้ แสดงหมายเลขชิ้นส่วน (Element Number) ของโครงสร้าง

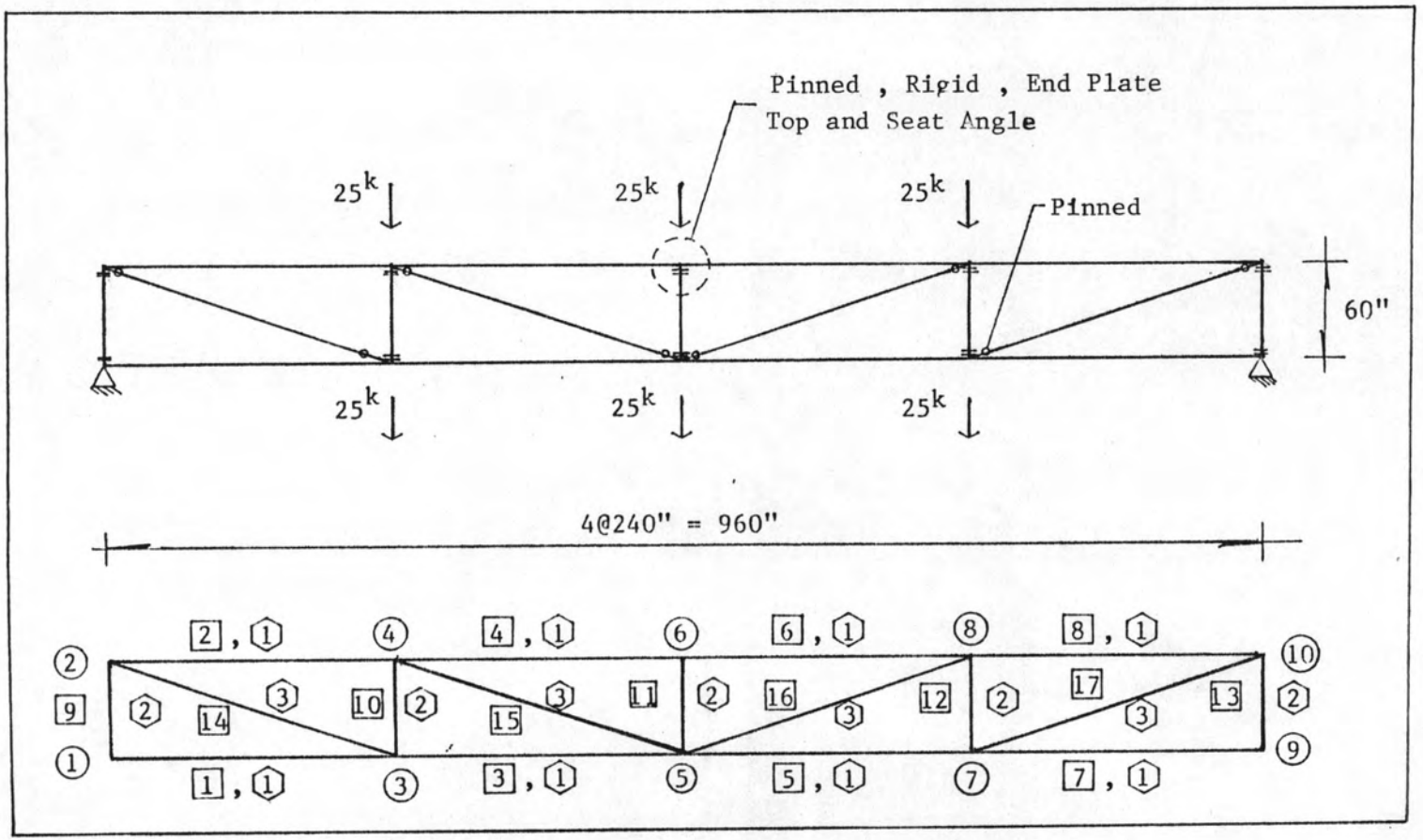
ตัวเลขในเครื่องหมายนี้ แสดงหมายเลขชุดของวัสดุ (Material Set Number) ของชิ้นส่วนแต่อันในโครงสร้าง

5.2 ตัวอย่างการศึกษาโครงสร้างที่มีรอยต่อต่างกัน

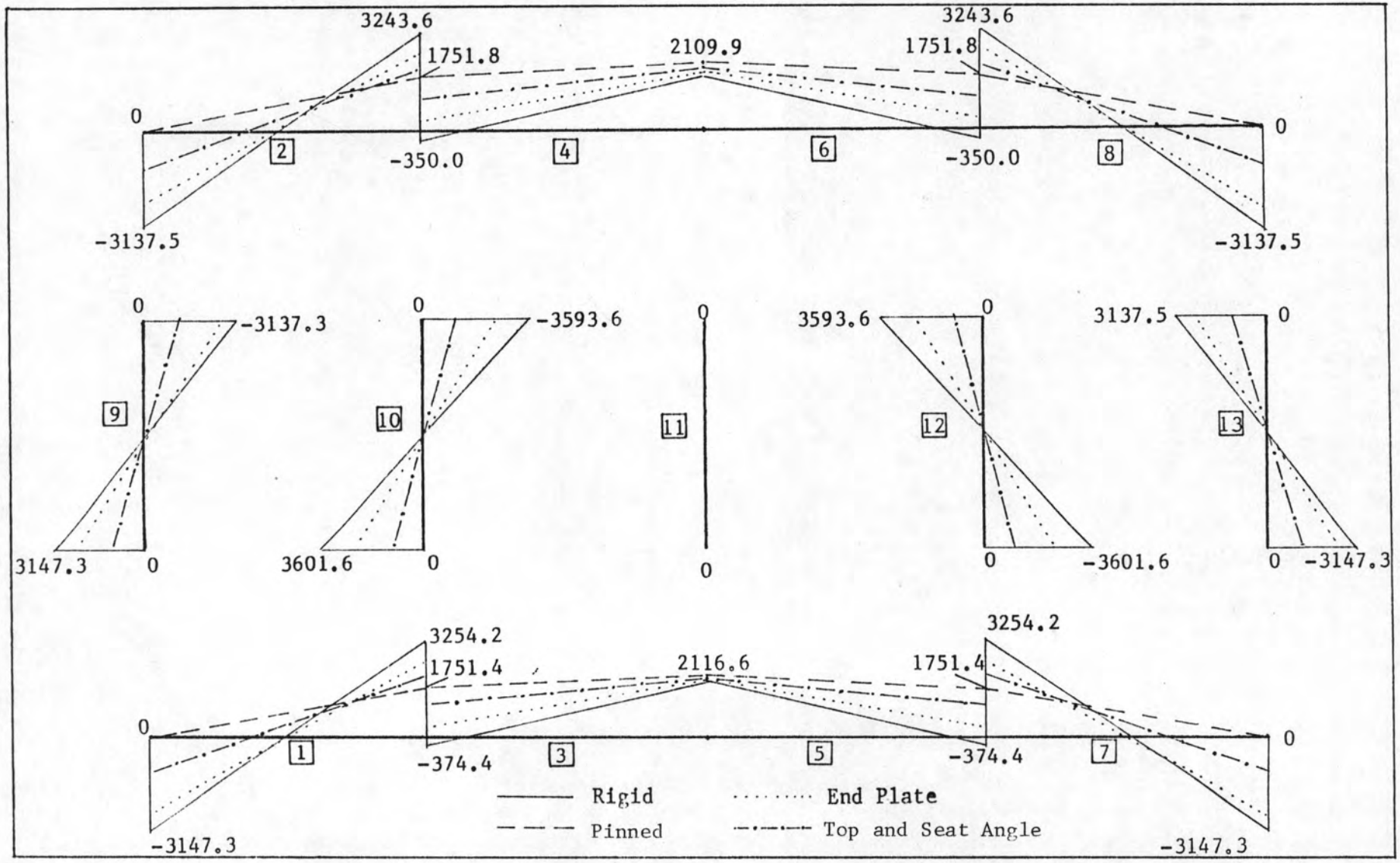
ตัวอย่างที่ 5.1 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 เป็นลักษณะและขนาดของโครงข้อหมุน ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกแบบจุด (Point Load) ขนาด 25 kips กระทำที่ชิ้วหมายเลข 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 เพื่อจะศึกษาผลที่จะเกิดกับโครงสร้างเมื่อรอยต่อในโครงสร้างเปลี่ยนจากประเภทหนึ่งไปสู่ประเภทหนึ่ง ดังนั้นรอยต่อที่ปลายชิ้นส่วนหมายเลข 9 , 10 , 11 ,12 และ 13 จะใช้เป็นรอยต่อแบบ ข้อหมุน , ข้อแข็ง , End Plate และ Top and Seat Angle

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างจะแสดงให้เห็นในรูปของไดอะแกรม ซึ่งจะประกอบไปด้วย ไดอะแกรมของโมเมนต์ ไดอะแกรมของแรงในแนวแกน ไดอะแกรมของแรงเฉือน และไดอะแกรมของการแอ่นตัวของโครงสร้าง และได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.3 , 5.4 , 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

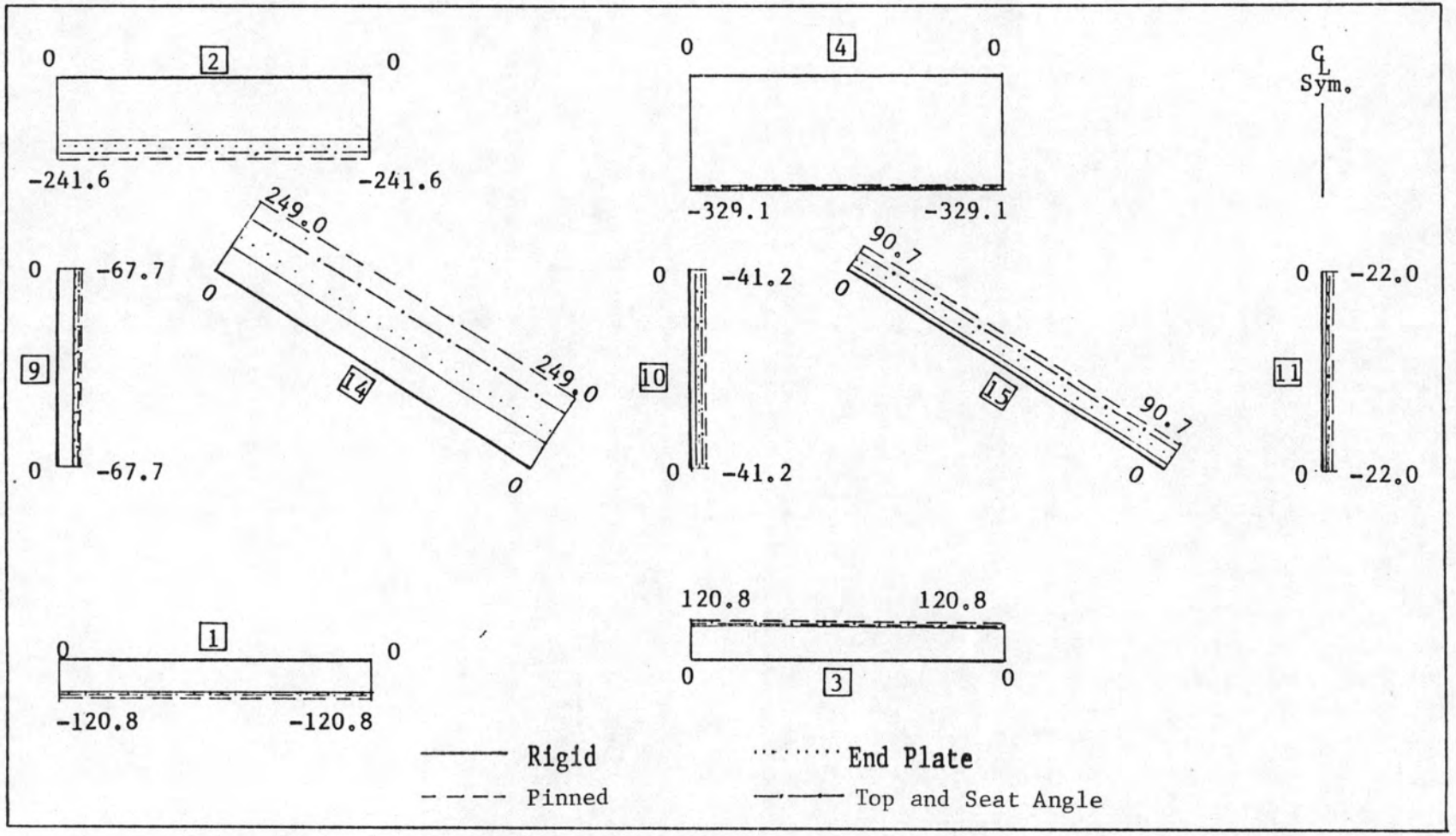
จากไดอะแกรมต่าง ๆ เราจะสามารถสังเกตการกระจายของแรงภายในและการแอ่นตัวของโครงสร้าง เมื่อรอยต่อในโครงสร้างเปลี่ยนจากรอยต่อที่มีสติฟเนสน้อย ๆ ไปสู่รอยต่อที่มีสติฟเนสมากขึ้น



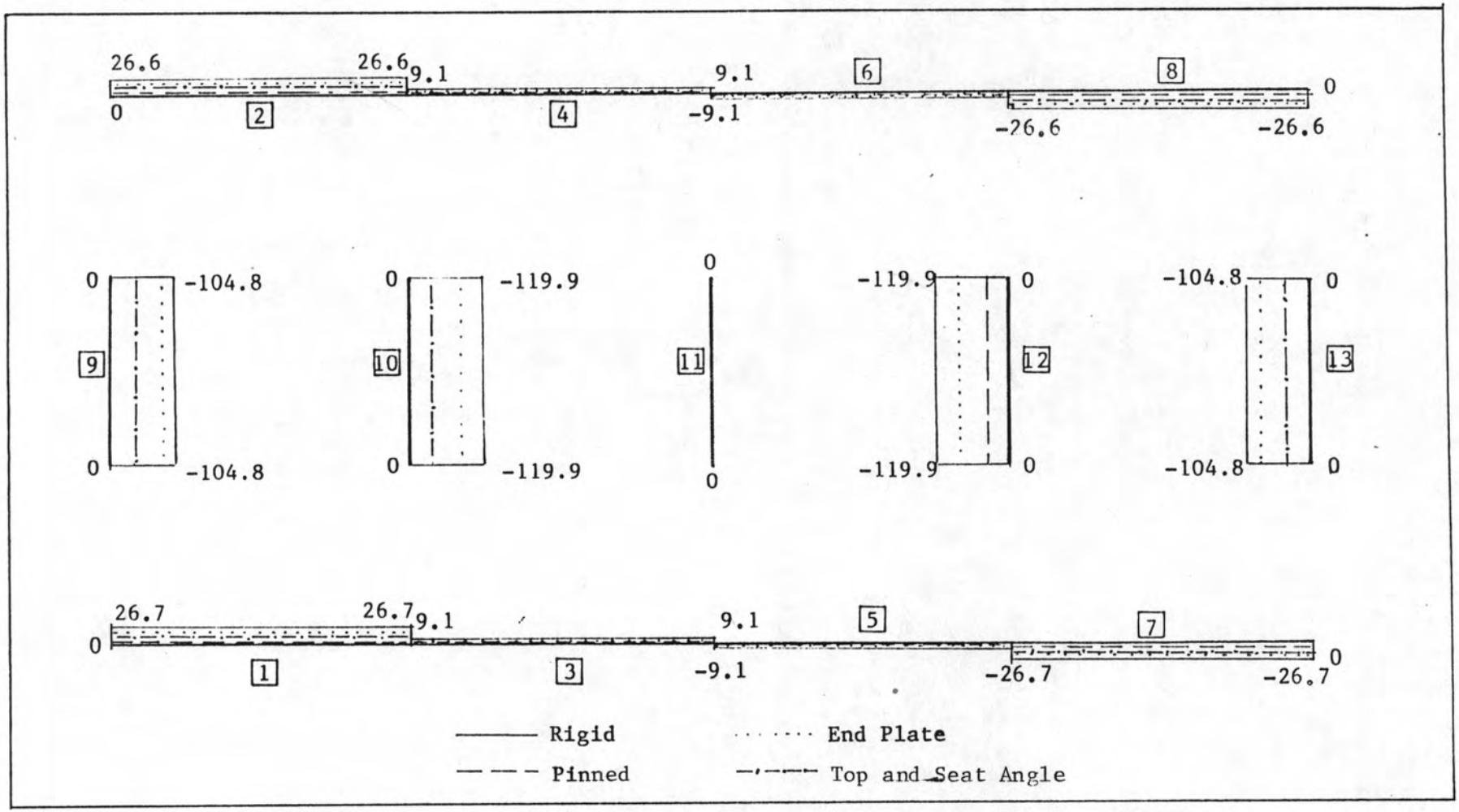
รูปที่ 5.2 โครงข้อหมุนตัวอย่างที่ 5.1



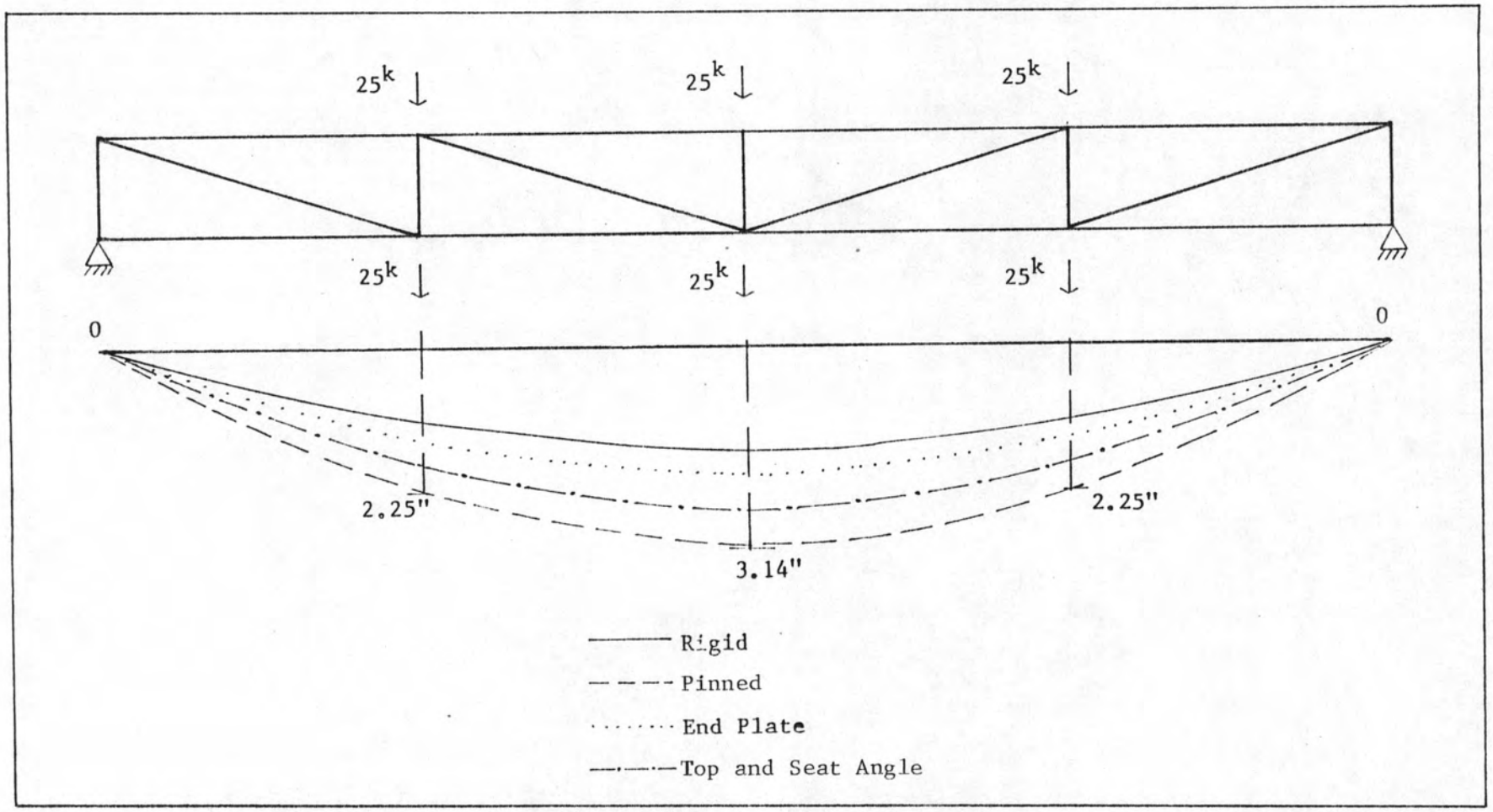
รูปที่ 5.3 โมเมนต์ไดอะแกรมของโครงข้อหมุนตัวอย่างที่ 5.1



รูปที่ 5.4 ไดอะแกรมของแรงในแนวแกนของโครงข้อหมุนตัวอย่างที่ 5.1



รูปที่ 5.5 ไดอะแกรมของแรงแฉือนของโครงข้อหมุนตัวอย่างที่ 5.1



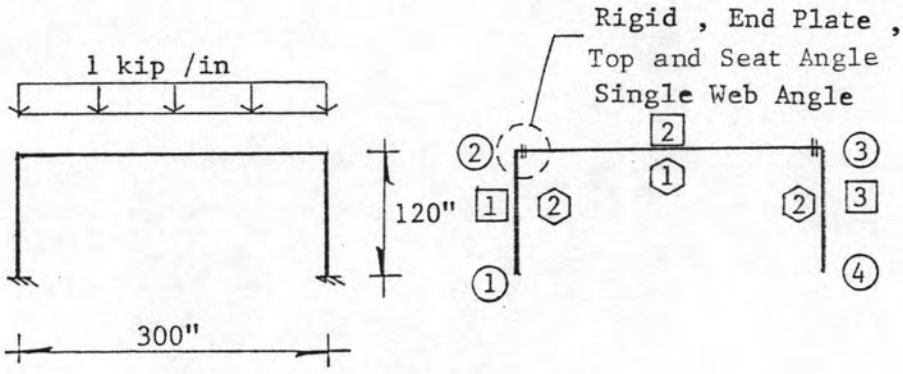
รูปที่ 5.6 ไดอะแกรมของการแอ่นตัวของโครงข้อหมุนตัวอย่างที่ 5.1

ตัวอย่างที่ 5.2 โครงข้อแข็ง FRAME 1 , FRAME 2 และ FRAME 3 ดังแสดงในรูปที่ 5.7 จะใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาการกระจายของโมเมนต์ภายในโครงสร้างที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน เมื่อเปลี่ยนประเภทของรอยต่อในโครงสร้างแต่ละอัน รอยต่อที่ใช้ในการศึกษาในตัวอย่างนี้จะประกอบด้วยรอยต่อแบบ ข้อแข็ง , End Plate , Top and Seat Angle และ Single Web Angle

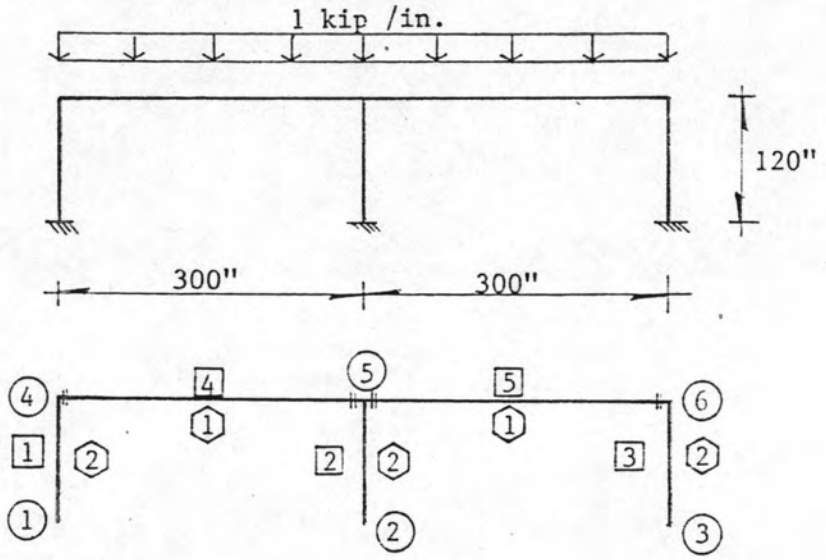
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างในตัวอย่างนี้จะแสดงในรูปของโมเมนต์ไดอะแกรม ซึ่งจะแสดงไว้ในรูปที่ 5.8 และ 5.9 จากลักษณะของโมเมนต์ไดอะแกรม จะสังเกตเห็นว่ารอยต่อแบบ Single Web Angle จะถ่ายโมเมนต์จากคานเข้าสู่เสาได้ในจำนวนที่ไม่มากนัก ในขณะที่รอยต่อแบบ End Plate ก็ไม่สามารถถ่ายโมเมนต์ผ่านรอยต่อได้มากเสมือนรอยต่อแบบข้อแข็ง

ตัวอย่างที่ 5.3 โครงข้อแข็ง FRAME 4 เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะร่วมกันระหว่างโครงข้อแข็ง FRAME 1 , FRAME 2 และ FRAME 3 มีลักษณะของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกกระทำดังแสดงในรูปที่ 5.10 รอยต่อต่าง ๆ ที่ใช้ในตัวอย่างนี้จะเหมือนกับรอยต่อที่ใช้ตัวอย่างที่ 5.2

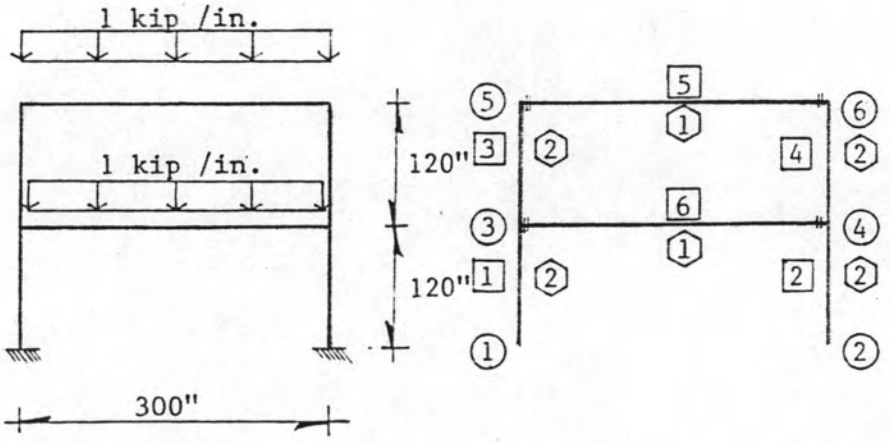
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งแสดงในรูปของโมเมนต์ไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 5.11 นอกจากลักษณะของรอยต่อแบบ Single Web Angle และ End Plate ที่มีผลต่อโครงสร้างคล้ายกันกับตัวอย่างที่ 5.2 แล้ว ผลเนื่องจากรอยต่อแบบ Top and Seat Angle ก็ยังเป็นที่น่าสังเกต เนื่องจากสามารถถ่ายโมเมนต์ผ่านรอยต่อเข้าสู่เสาหรือคานต่อเนื่องได้มากพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับรอยต่อประเภทอื่น ๆ ที่ออกแบบให้รับแรงเฉือนเท่า ๆ กัน



FRAME 1

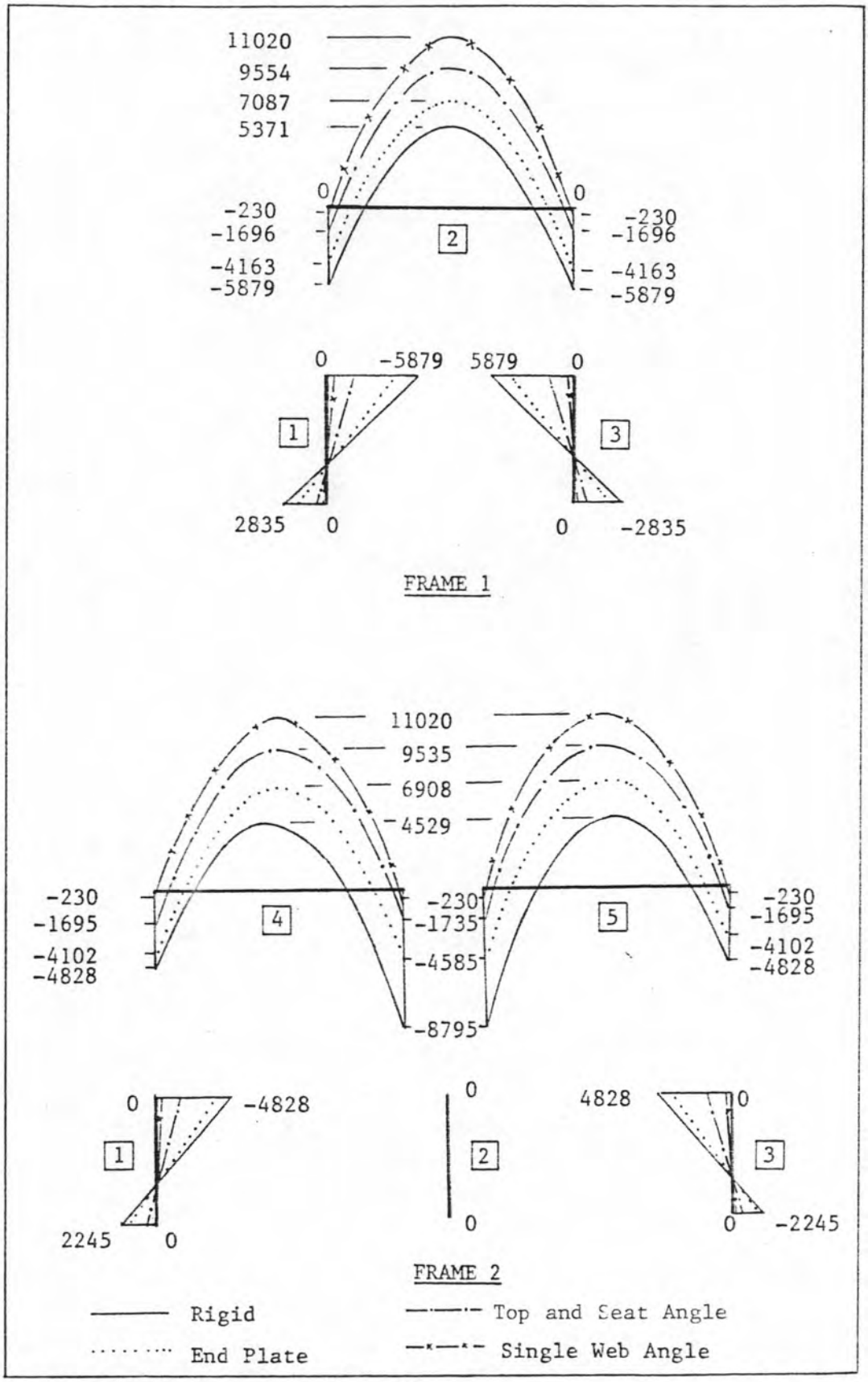


FRAME 2

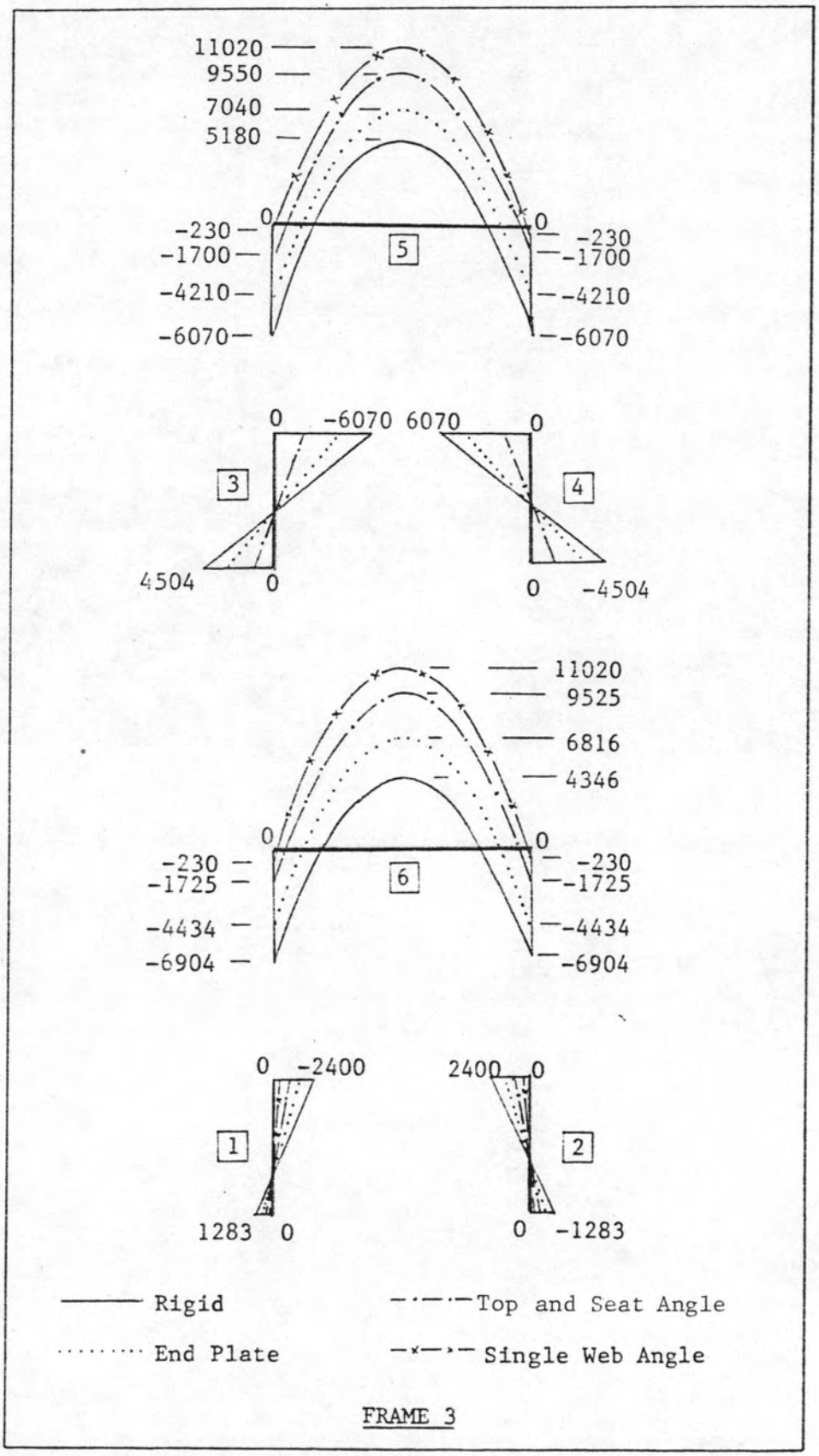


FRAME 3

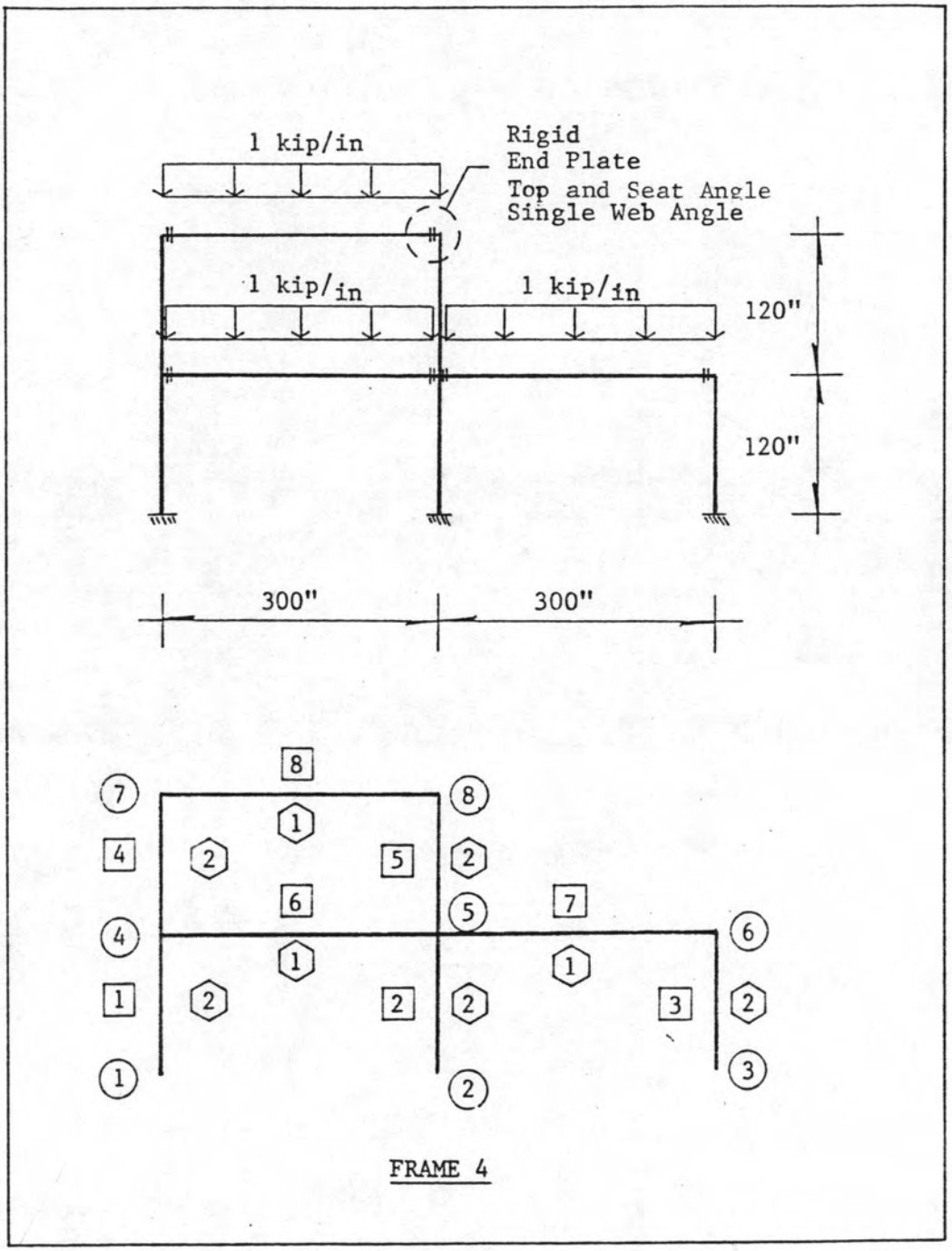
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างที่ 5.2 โครงข้อแข็ง FRAME 1 , FRAME 2 และ FRAME 3



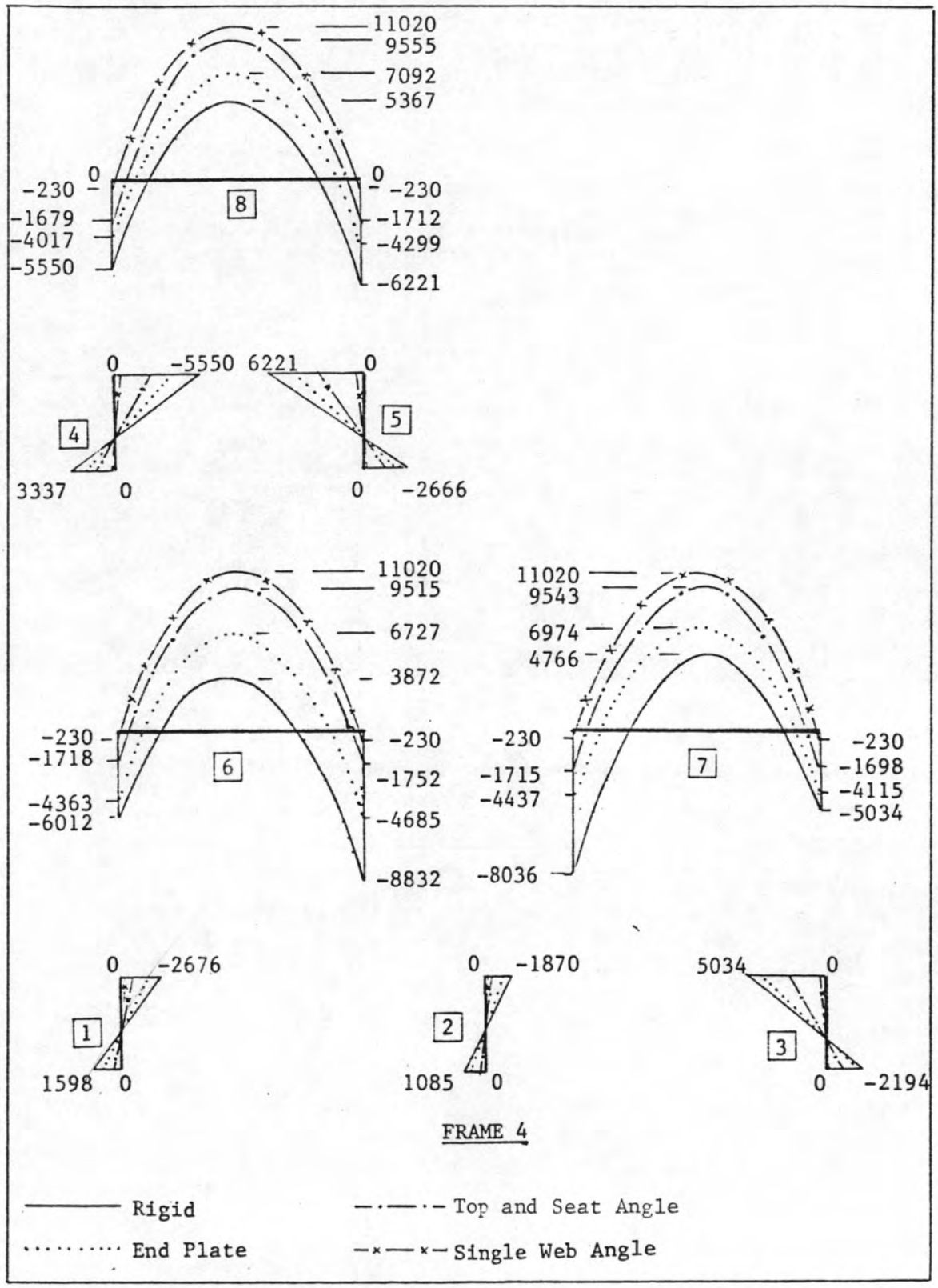
รูปที่ 5.8 ไดอะแกรมของโมเมนต์ของโครงข้อแข็ง FRAME 1 , FRAME 2 ตัวอย่างที่ 5.2



รูปที่ 5.9 ไดอะแกรมของโมเมนต์ของโครงข้อแข็ง FRAME 3 ตัวอย่างที่ 5.2



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างที่ 5.3 โครงข้อแข็ง FRAME 4

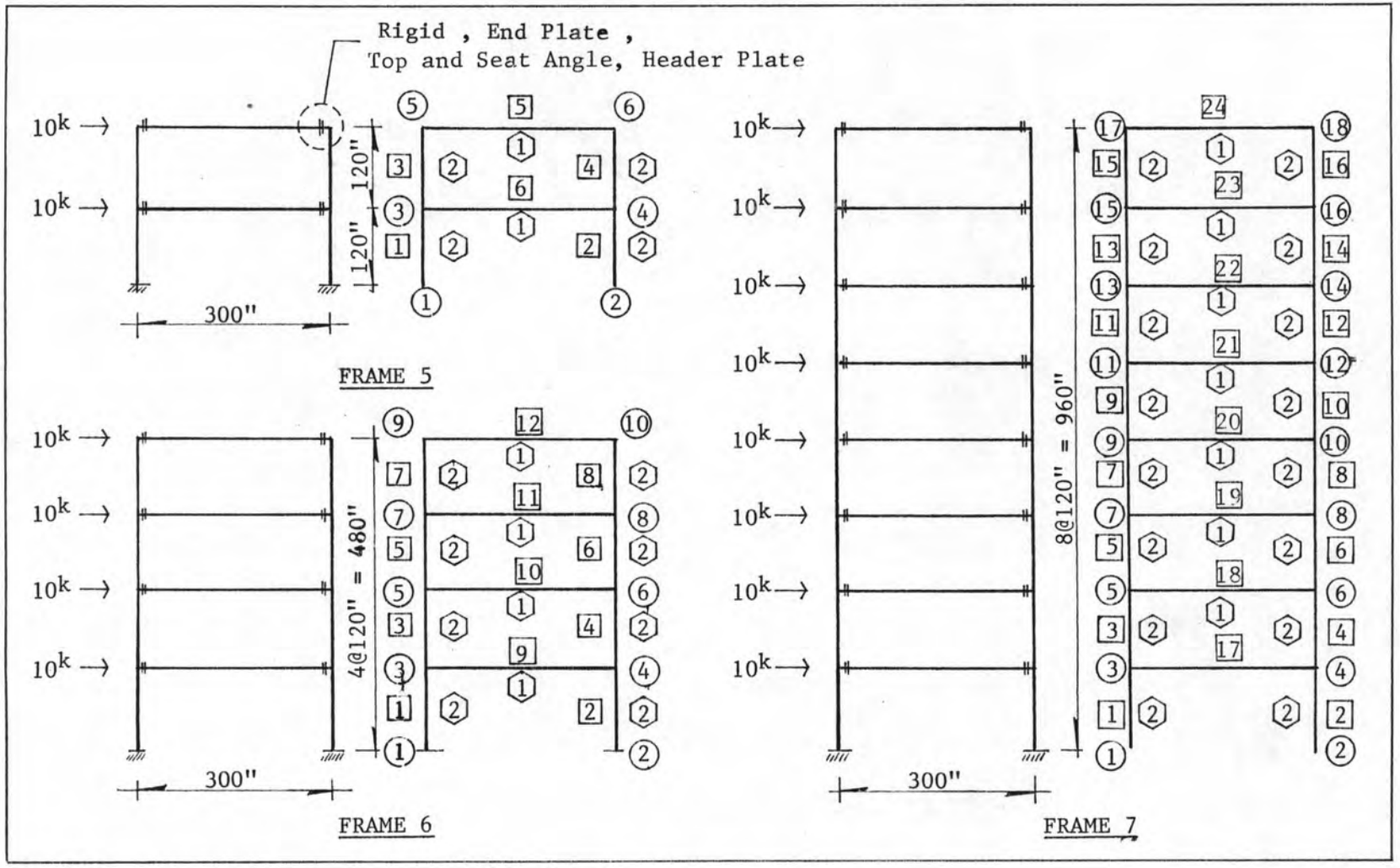


รูปที่ 5.11 ไดอะแกรมของโมเมนต์ของโครงข้อแข็ง FRAME 4 ตัวอย่างที่ 5.3

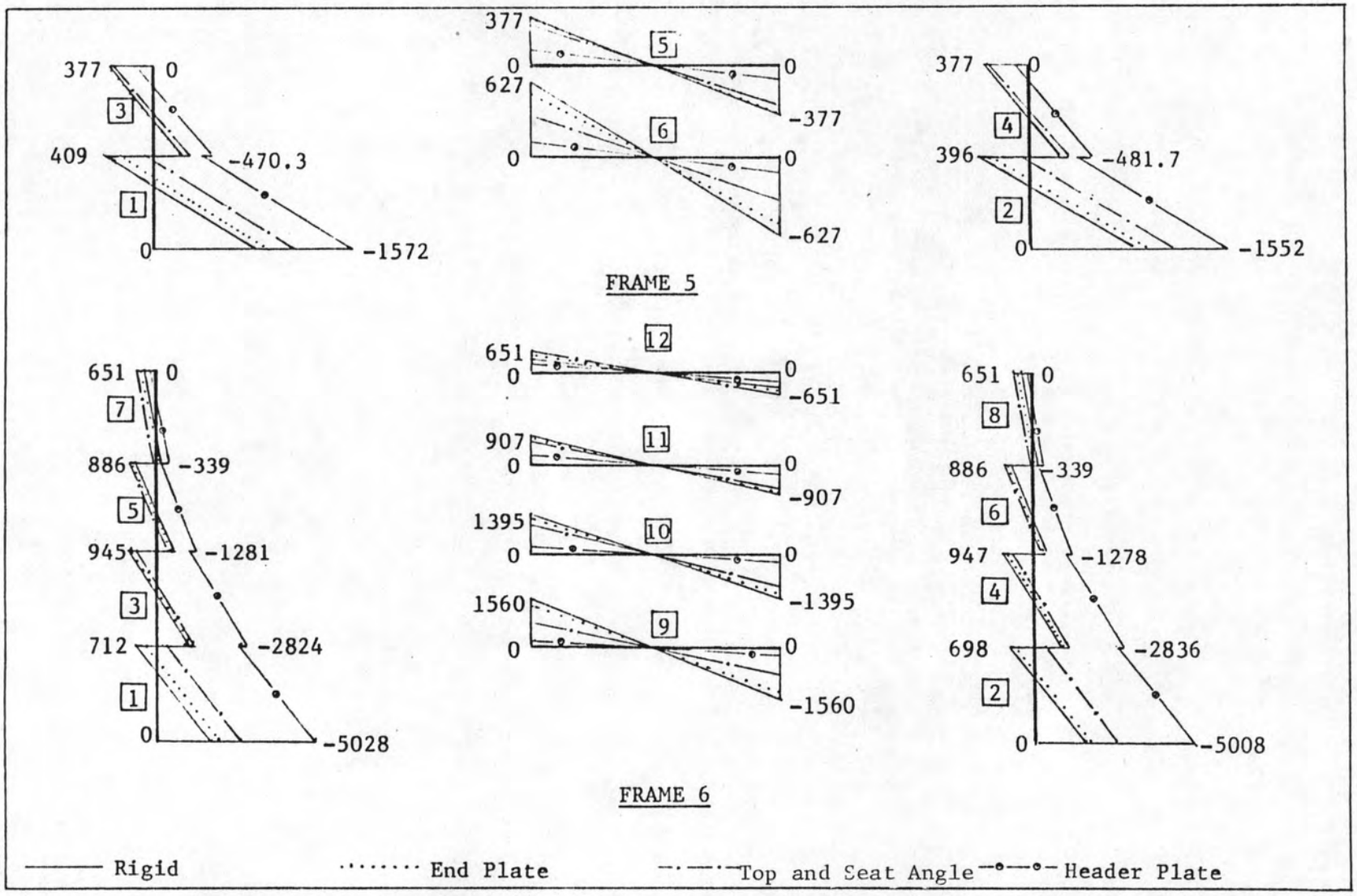
ตัวอย่างที่ 5.4 โครงข้อแข็ง FRAME 5 , FRAME 6 และ FRAME 7 ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา การเคลื่อนที่ในแนวราบของโครงสร้างเมื่อโครงสร้างได้รับแรงกระทำทางด้านข้างในแนวราบ ลักษณะของโครงสร้างทั้งสามและแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง แสดงไว้ในรูปที่ 5.12 รอยต่อที่ใช้ในตัวอย่างนี้จะประกอบด้วยรอยต่อแบบข้อแข็ง , End Plate , Top and Seat Angle และ Header Plate

โมเมนต์ไดอะแกรมของโครงข้อแข็ง FRAME 5 และ FRAME 6 จะแสดงในรูปที่ 5.13 ส่วนของโครงข้อแข็ง FRAME 7 จะแสดงไว้ในรูปที่ 5.14 และไดอะแกรมของการเคลื่อนที่ในแนวราบของชั้วทางด้านขวาของโครงสร้างจะแสดงไว้ในรูปที่ 5.15 ซึ่งน่าสังเกตว่าลักษณะของโมเมนต์ไดอะแกรมของรอยต่อแบบ End Plate จะแสดงลักษณะของรอยต่อแบบกึ่งข้อแข็งมากกว่าที่แสดงในตัวอย่างที่ 5.2 และตัวอย่างที่ 5.3 การเคลื่อนที่ของชั้วทางด้านขวาของโครงสร้าง เมื่อโครงสร้างมีรอยต่อเป็นแบบ End Plate จะมีผลต่อโครงสร้างมากเนื่องจากรอยต่อประเภทนี้ ถูกสมมติให้เป็นรอยต่อแบบข้อแข็ง การเคลื่อนที่ในแนวราบของชั้วบนสุดทางด้านขวาของโครงสร้างเมื่อโครงสร้างใช้รอยต่อแบบ End Plate จะมากกว่าเมื่อโครงสร้างใช้รอยต่อแบบข้อแข็งถึง 50 % , 57 % และ 64 % ในโครงข้อแข็ง FRAME 5 , FRAME 6 และ FRAME 7 ตามลำดับ

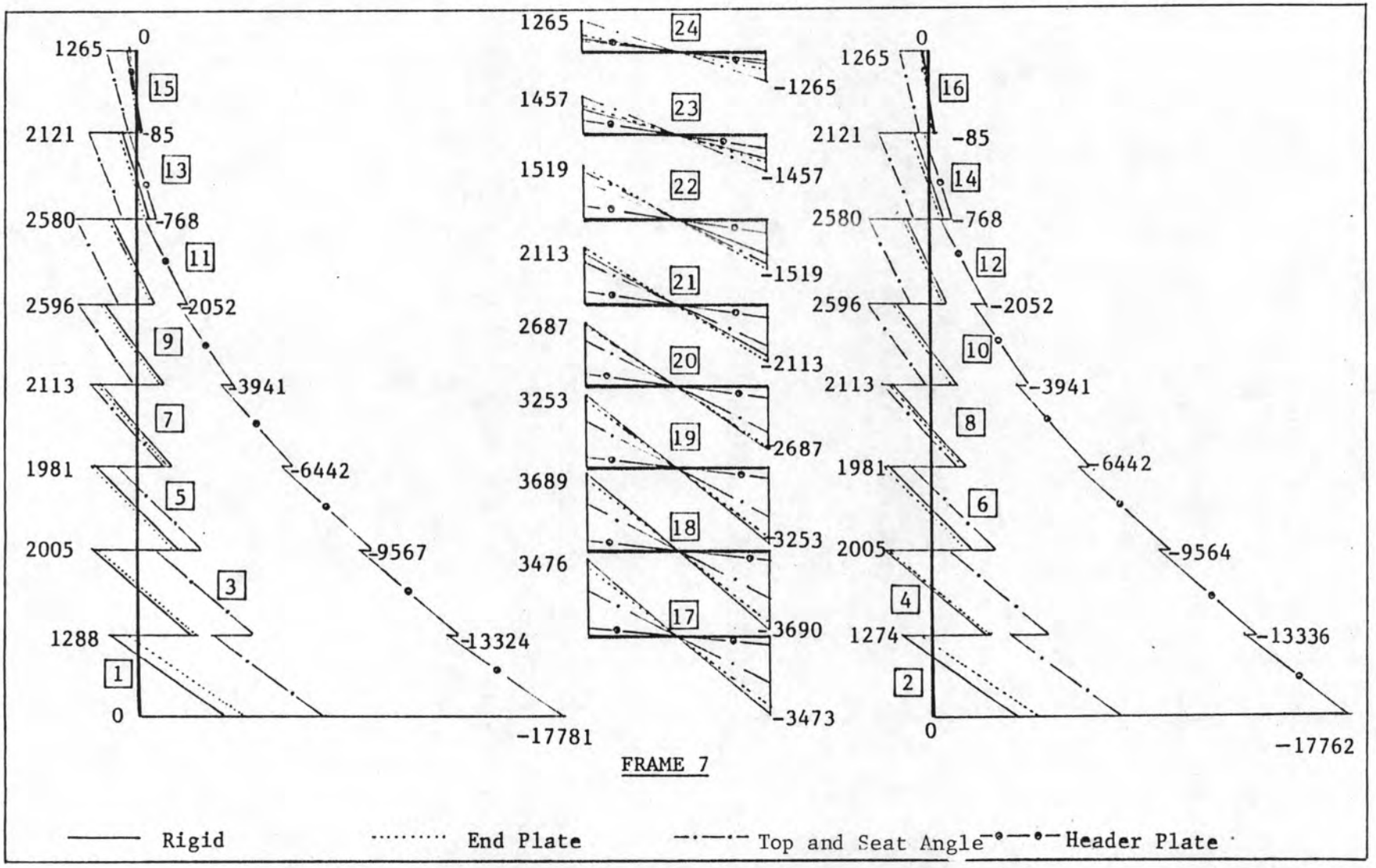
จากตัวอย่างที่ผ่านมาทั้งหมดจะแสดงให้เห็นผลของรอยต่อที่ใช้ในโครงสร้าง ผลของรอยต่อต่าง ๆ จะมีผลมากน้อยอย่างไรจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ มากมาย เช่น ประเภทและขนาดของรอยต่อ ตำแหน่งของรอยต่อในโครงสร้าง ลักษณะของโครงสร้าง ลักษณะของน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง ปริมาณของน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง ฯลฯ และจากผลในตัวอย่างที่ผ่าน ๆ มา ก็จะเห็นว่ารอยต่อแบบ Single Web Angle และ Header Plate มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับรอยต่อแบบข้อหมุนมาก ซึ่งเหมาะสมกับข้อสมมุติฐานที่กำหนดให้รอยต่อทั้งสองแบบนี้เป็นรอยต่อแบบข้อหมุน รอยต่อแบบ Top and Seat Angle จะรับโมเมนต์ได้มากกว่ารอยต่อทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งในจุดนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ รอยต่อแบบ End Plate ยังไม่มีลักษณะแบบข้อแข็งอย่างแท้จริงได้ เพราะฉะนั้นการสมมติให้รอยต่อนี้เป็นข้อแข็ง ควรจะต้องคำนึงถึงผลที่จะเกิดกับโครงสร้างจริง ๆ ด้วย อย่างไรก็ตามลักษณะของผลที่เกิดกับโครงสร้างอาจจะเปลี่ยนแปลงไปได้ ในกรณีที่รอยต่อลักษณะและขนาดที่แตกต่างไปจากที่ใช้ในบทนี้



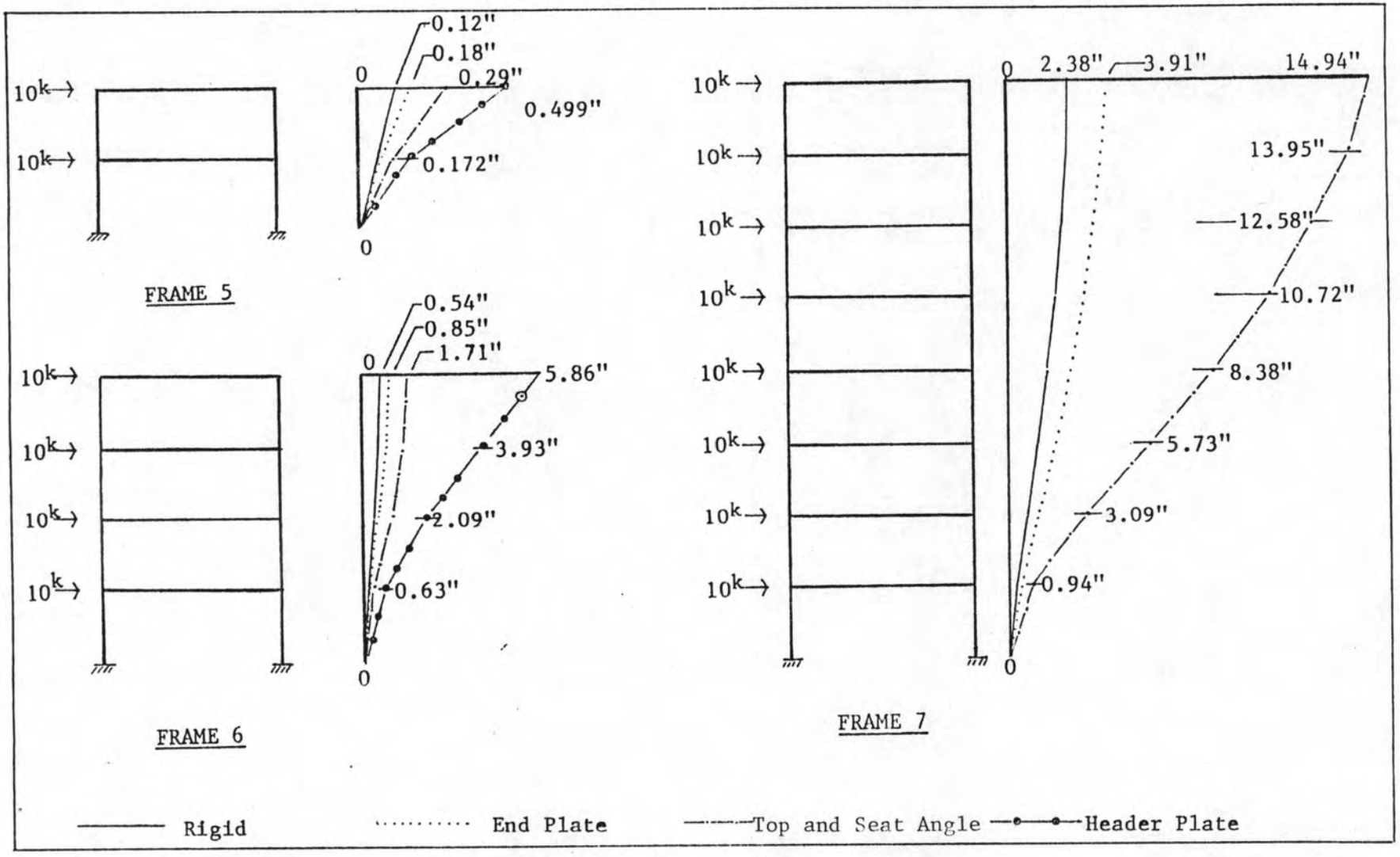
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างที่ 5.4 โครงข้อแข็ง FRAME 5 , FRAME 6 และ FRAME 7



รูปที่ 5.13 ไดอะแกรมของโมเมนต์ของโครงข้อแข็ง FRAME 5 และ FRAME 6 ตัวอย่างที่ 5.4



รูปที่ 5.14 ไดอะแกรมของโมเมนต์ของโครงข้อแข็ง FRAME 7 ตัวอย่างที่ 5.4



รูปที่ 5.15 การเคลื่อนที่ในแนวราบของขั้วทางด้านขวาของโครงข้อแข็ง FRAME 5 , FRAME 6 และ FRAME 7 ตัวอย่างที่ 5.4